

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年10月18日

出願番号

Application Number:

特願2002-305003

[ST.10/C]:

[JP2002-305003]

出願人

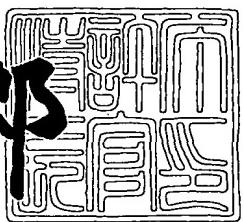
Applicant(s):

株式会社オーク製作所

2003年 1月31日

特許長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3003382

Attorney Docket: Y-217

Express Mail #EV190847744US

【書類名】 特許願
【整理番号】 ORC716
【提出日】 平成14年10月18日
【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿
【国際特許分類】 H01S 3/094
【発明者】
【住所又は居所】 東京都調布市調布ヶ丘3丁目34番1号 株式会社オーク製作所内
【氏名】 布川 洋
【発明者】
【住所又は居所】 東京都調布市調布ヶ丘3丁目34番1号 株式会社オーク製作所内
【氏名】 天野 覚
【特許出願人】
【識別番号】 000128496
【氏名又は名称】 株式会社オーケ製作所
【代理人】
【識別番号】 100099254
【弁理士】
【氏名又は名称】 役 昌明
【選任した代理人】
【識別番号】 100100918
【弁理士】
【氏名又は名称】 大橋 公治
【選任した代理人】
【識別番号】 100105485
【弁理士】
【氏名又は名称】 平野 雅典

【選任した代理人】

【識別番号】 100108729

【弁理士】

【氏名又は名称】 林 紘樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100099472

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉山 猛

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 037419

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 固体レーザ装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 固体レーザ媒質と、この固体レーザ媒質の側面に配設され上記固体レーザ媒質を励起する励起光源と、上記固体レーザ媒質で吸収されなかつた上記励起光源からの励起光を上記固体レーザ媒質に戻す反射部とを備えた固体レーザ装置において、

上記固体レーザ媒質は、上記励起光源と対向する面を、上記励起光が上記固体レーザ媒質内で平行となるように形成された光入射面とするとともに、上記反射部と対向する面を平面とし、上記反射部からの反射光を平行状態で上記固体レーザ媒質に戻すようにしたことを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項2】 上記固体レーザ媒質の側面と直交する断面における前記光入射面の部分の形状は円弧状であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ装置。

【請求項3】 上記固体レーザ媒質の側面と直交する断面における前記光入射面の部分の形状は多角形であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ装置。

【請求項4】 上記固体レーザ媒質は上記励起光源と対向する部分を除き反射層が形成され、この反射層を上記反射部としたことを特徴とする請求項1記載の固体レーザ装置。

【請求項5】 上記固体レーザ媒質は上記励起光源と対向する部分を除きヒートシンクで外周が覆われ、このヒートシンクにおける上記固体レーザ媒質の平面と対向する面を鏡面とし、この鏡面を上記反射部としたことを特徴とする請求項1記載の固体レーザ装置。

【請求項6】 上記固体レーザ媒質は異方性を有する結晶体からなり、上記励起光源からの励起光が上記結晶体のc軸に実質的に平行となるように配設されていることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ装置。

【請求項7】 上記固体レーザ媒質は等方性を有する結晶体からなり、上記励起光源からの励起光が上記結晶体に実質的に平行になるように配設されている

ことを特徴とする請求項1記載の固体レーザ装置。

【請求項8】 上記結晶体は、Nd:YVO₄、Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:GdVO₄、Yb:YVO₄、Yb:YAG、Yb:YLF、Yb:GdVO₄、Er:YVO₄、Er:YAG、Er:YLF、Er:GdVO₄、Ho:YVO₄、Ho:YAG、Ho:YLF、Ho:GdVO₄、Ti:Al₂O₃の何れかからなり、上記励起光源は半導体レーザからなることを特徴とする請求項6記載の固体レーザ装置。

【請求項9】 上記固体レーザ媒質は、側面と直交する断面の形状がD字形のロッドからなることを特徴とする請求項6記載の固体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は固体レーザ装置に関し、特に励起光源として半導体レーザ（以下「LD」という）を用いたLD励起固体レーザ装置において、励起効率および励起分布がともに良好であり、かつ異方性を有するレーザ媒質においても結晶軸の位置決めが容易に行える固体レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

LDを励起光光源とするLD励起固体レーザ装置は、ランプ励起の固体レーザ装置と比較して小型、高効率、長寿命のレーザ光源として注目されている。特に近年ではLDの性能や品質の向上が目覚しく、LD励起の完全固体レーザの実用化が急速に進展している。これにより従来のランプ励起の固体レーザ装置と比較して寿命が1,000時間から10,000時間と上昇した。また、LD励起固体レーザ装置では、固体レーザ媒質の吸収波長とLDの発振波長とが一致するので効率良くレーザ結晶を励起することが出来、量子効率が高いので熱レンズ効果が低減され、ビーム品質が格段に向上している。なお、励起方式としては長尺な固体レーザ媒質から発振するレーザ光の光軸の側面にLDを並べて励起する側面励起方式と呼ばれる固体レーザ装置が多数提案され、製作されている。

【0003】

産業用固体レーザ装置に用いられるレーザ媒質はNd:YAG結晶、Nd:YVO₄結晶が広く知られている。このNd:YAG結晶は機械強度、熱伝導性に優れる反面、蛍光寿

命が長いので、30kHz以上の高繰り返しパルスの発振には適していない。また結晶の軸特性はなく、励起効率は励起光の偏光特性に依存しないため、扱いやすい結晶である。一方、Nd:YVO₄結晶は機械強度、熱伝導性ではNd:YAGに劣るもの、蛍光寿命が短く、誘導放出断面積がNd:YAGに比べて高いので、高繰り返しパルス発振に最適な材料である。ただし1軸性の結晶であるため、レーザ発振に用いた時に特定の方向に偏光して発振するばかりでなく、その吸収特性にも異方性がある。このように、LDは一般に特定の方向に偏光して発振するために、結晶に対する偏光方向を選ぶことによって、効率のよい励起が可能になることが特許文献1に開示されている。

【0004】

【特許文献1】

特開平4-137775号公報

【0005】

側面励起方式のLD励起固体レーザ装置の例として特許文献2に記載されたものがある。

【0006】

【特許文献2】

特開平2-54588号公報

【0007】

このレーザ装置では、図6に示すように、円筒状のレーザ媒質61の光軸に沿う外周を囲む反射層64と、LD60からの励起光62をレーザ媒質61に入射させるための反射層64の一部に設けられた開口63とを備えている。そして、レーザ媒質61に沿う外面の殆どを反射層64で覆い、その微小部分をLD60からの励起光62の入射部分としている。これにより、LD60からのによる励起光62をレーザ媒質61内に閉じ込めて、レーザ媒質61に効率よく吸収させることができるために、発振のエネルギー効率が向上するというものである。

【0008】

レーザ媒質の結晶軸の位置決めが出来るようにレーザ媒質を固定し、反射光を1点に集中させないように構成されたLD励起固体レーザ装置として、角型ロッ

ド状のレーザ媒質を用いたものがある。図7に示すように、このLD励起固体レーザ装置では、四角柱状のレーザ媒質71の光軸に沿う外周を囲む反射層74と、LDからの励起光72をレーザ媒質71に入射させるための、反射層74の一部に設けられた開口73とを備えている。レーザ媒質71に沿う外面の殆どを反射層74で覆い、その微小部分をLD70からの励起光72の入射部分としている。これにより、LD70からの励起光72をレーザ媒質71内に閉じ込めて、レーザ媒質71に効率よく吸収させることが出来るため、発振のエネルギー効率が向上するというものである。レーザ媒質71として角型のNd:YVO₄結晶を用いることで、励起光72の光電界方向と、a軸カットのNd:YVO₄結晶のc軸とを平行にすることが可能となる。

【0009】

集光光学系を使用することなく、レーザ媒質を均一に励起することを可能にした固体レーザ装置として、例えば特許文献3に開示されたものがある。

【0010】

【特許文献3】

特開平7-307510号公報

【0011】

図8に示すように、この固体レーザ装置では、レーザ媒質81が励起光82に対して所定の屈折率を有することを利用して、レーザ媒質81を励起光82に近接させて配置し、レーザ媒質81の励起光源側の面に凸面部86を形成することによって、集光光学系を用いずに励起光82の広がり角を小さくすることを可能にしている。

【0012】

また、固体レーザロッド（レーザ媒質）に吸収されなかった励起光を有效地に固体レーザロッドに戻すための工夫が特許文献4に開示されている。

【0013】

【特許文献4】

特開2001-244526号公報

【0014】

しかしながら、特許文献4に示された固体レーザ装置では、図9に示すように、固体レーザロッド1と同心円状に冷却媒質用の隙間2、冷却チューブ3、さら

に反射面を形成するための円筒状部材4が多重に配設されているため、固体レーザロッド1に吸収されなかった励起光は冷却媒質用の隙間2、冷却チューブ3を少なくとも2度通過することになり、その間に励起光が減衰し、反射光をきわめて有効に活用することが出来ない懸れがある。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、以上例示した従来のLD励起固体レーザ装置は何れもレーザ媒質をLDで励起すると、その分布が一様にならないという問題点があった。

【0016】

例えば、図6に示した従来例では反射層64が円形であるため、反射光が一点に集中し、レーザ媒質61が均一にLDで励起されない（図10参照）。また、図7の例では反射面を角型にすることで反射光が一点に集光せず全体的に広がるが、LD70からの励起光72は拡がり角を有するため、レーザ媒質71の外側は弱い励起分布の拡がりが生じ、高次の空間モードが発生する。この結果、ビーム品質が劣化することは特許文献5に記載されている。レーザ媒質内が励起光によって平行に励起されることが望ましい。

【0017】

【特許文献5】

特開平5-335662号公報

【0018】

また、従来例における課題として、レーザ媒質の結晶軸の位置決めが出来ないこと、およびレーザ媒質を均一に効率よく励起出来ないことがあった。

【0019】

例えば図6の固体レーザ装置では、レーザ媒質61が円筒状なので、結晶軸の位置決めがしにくいという不具合がある。図7の固体レーザ装置では、レーザ媒質71が角型であるため、結晶軸の位置決めが出来るものの、LD70からの励起光72がレーザ媒質71中で大きく広がるため、均一に励起されないという欠点がある。図8の固体レーザ装置では、レーザ媒質81の一端の面を凸面、他端の面を平面とし、それらの面に鏡を隣接させている。そのため、励起光82の一部が出力鏡84を

透過してしまい、効率よくレーザ媒質81を励起出来ない。また、レーザ媒質81の結晶軸と励起光82との関係についての考慮が図られていない。

【0020】

本発明は上記の問題を解決するためになされたもので、励起効率および励起分布がともに良好であり、かつ異方性をもつレーザ媒質においても結晶軸の位置決めが容易に行える固体レーザ装置を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る固体レーザ装置は、固体レーザ媒質と、この固体レーザ媒質の側面に配設され上記固体レーザ媒質を励起する励起光源と、上記固体レーザ媒質で吸收されなかった上記励起光源からの励起光を上記固体レーザ媒質に戻す反射部とを備えた固体レーザ装置において、上記固体レーザ媒質は、上記励起光源と対向する面を、上記励起光が上記固体レーザ媒質内で平行となるように形成された光入射面とともに、上記反射部と対向する面を平面とし、上記反射部からの反射光を平行状態で上記固体レーザ媒質に戻すようにしたことを特徴とする。このように構成したことにより、励起光源からの拡がりを有する励起光をレーザ媒質中で平行光にし、1回のパスでレーザ媒質に吸收されなかった励起光を反射部で反射させ、固体レーザ媒質に戻すことにより、励起効率および励起分布をともに良好にすることが出来ると共に、固体レーザ媒質の平面を反射部に当接させることで結晶軸の位置決めを容易に行うことが出来る。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。

図1は本発明の実施の形態のLD励起固体レーザ装置（以下、「本実施の形態の固体レーザ装置」という）のレーザ発振軸方向と垂直な方向の断面図であり、図2は本実施の形態の固体レーザ装置におけるレーザ媒質の斜視図である。また、図3は本実施の形態の固体レーザ装置を励起したときの光線追尾図である。

【0023】

本実施の形態の固体レーザ装置は、LD10と、レーザ媒質11と、第1ブロック

15a、第2ブロック15b、および第3ブロック15cからなるヒートシンク15とを備えている。

【0024】

ここで、LD10として励起光12の出力が40W、拡がり全角が40°（半値幅）、波長が800nm帯の構成を有するものを用いた。そして、レーザ発振する端面には1064nmのArコートおよび光学研磨を施し、レーザ発振の損失を低減させている。

【0025】

レーザ媒質11はレーザ発振軸方向と垂直な方向の断面がD字形となされている。すなわち、LD10と対向する面が円弧状の入射面Aとなされ、入射面Aと反対側の面は平面部となされている。入射面Aが凸レンズと同様の凸面を形成しているということもできる。さらに励起光源であるLD10と対向する部分を除き、反射層14がレーザ媒質11に形成されている。この反射層14により、上記平面部に反射面Bが形成される。レーザ媒質11は結晶体であり、さらに具体的には、Ndドープ量0.5at%のa軸カットのNd:YVO₄である。レーザ媒質11の結晶体のc軸方向は図2に示すように、平面部と平行である。レーザ媒質11は直径1.5mm、長さは12mmのロッドであり、ロッドの側面の一部を、側面から中心に向かって0.5mmの位置にて平面に切り落としたものである。レーザ媒質11はLD10からの励起光12を吸収し所定波長の光を発生または增幅する。なお、レーザ媒質11として、Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:GdVO₄、Yb:YVO₄、Yb:YAG、Yb:YLF、Yb:GdVO₄、Er:YVO₄、Er:YAG、Er:YLF、Er:GdVO₄、Ho:YVO₄、Ho:YAG、Ho:YLF、Ho:GdVO₄、Ti:Al₂O₃等も利用することが出来る。

【0026】

例えば銅よりなる第1ブロック15a、第2ブロック15b、および第3ブロック15cは、レーザ媒質11を覆うように配設され、さらに第1ブロック15aと第2ブロック15bとの間には、LD10からの励起光12がレーザ媒質11に入力されるようにスリット13が設けられている。また、第3ブロック15cにはレーザ媒質11の平面部を当接させて結晶軸の位置合わせに利用するための平面形状部16が形成されている。なお、図示しないが、各ブロックの内部は冷却水が循環しているので、レーザ媒質11およびLD10を間接的に冷却することが出来る。また、冷却効果を向

上させるため、レーザ媒質11との接触部は凹凸のないように十分に研磨して、レーザ媒質11とヒートシンクとの密着性を高めている。また、第1ブロック15a、第2ブロック15b、第3ブロック15cの内面を鏡面に研磨したり、Auコートに代表される高反射膜コーティングを施すことが好適である。

【0027】

以上のように構成された本実施の形態の固体レーザ装置において、励起光12がLD10の出射口から0.5mm離れたD字形ロッドからなるレーザ媒質11の入射面Aに入射すると励起光12の拡がり全角が5°以下に減少する。励起光12は実質的に平行となり、励起光12の光軸が媒質11の中心部を通過する。レーザ媒質内11の励起光12はほぼ平行に進みながら吸収されていくが、一度のパス（ここでは1.0mm）で吸収されなかった約30%の励起光12は平面部の反射面Bで入射光とほぼ平行に反射され、そのまま入射光にほぼ重なり合ってレーザ媒質11に励起されるので励起効率が格段に向上する。

【0028】

励起光12の偏光面は図1のY軸方向と平行なものを使用しているので、レーザ媒質11の平面部を第3ブロック15cに押し当てるとき、励起光12の偏光面とレーザ媒質11のc軸とは平行になる。したがって、レーザ媒質11の励起光12の吸収率およびレーザ発振の誘導放出断面積が最大となり、レーザ媒質11が異方性をもつNd:YVO₄であっても効率良くレーザ発振が行える。ここで、Nd:YVO₄結晶の異方性について具体例をあげて説明する。Nd:YVO₄結晶からなるレーザ媒質を最も効率よく励起出来る軸方向から結晶軸を90°回転させると励起光(808nm付近)の吸収率が1/4~1/5程度、また誘導放出断面積も1/4~1/5程度に激減してしまう。本実施の形態においては、レーザ媒質11の側面の一部が平面となっているため、この平面を第3ブロック15cの平面形状部16に当接させることで、最も効率よく励起出来る軸方向に結晶軸を容易に位置決めすることが出来る。

【0029】

このように、本実施の形態の固体レーザ装置によれば、レーザ媒質11の入射面Aが、LD10からの拡がりを有する励起光12を平行光にする形状を有するので、励起光12を平行光にするための光学部品を使用しない簡素な構造にて、レーザ媒

質11を均一にかつ高密度に励起することが出来る。また、レーザ媒質11の外面の殆どが反射層14で覆われており、励起光12をレーザ媒質11内に閉じ込めることが出来るので、効率良く励起することが可能である。さらに、レーザ媒質11の側面の一部が平面となっているため、結晶軸の位置決めが容易となる。したがって、例えばNd:YVO₄のように異方性を有する結晶においても効率よく励起することが可能である。つまり、本実施の形態の固体レーザ装置によれば、異方性または等方性いずれのレーザ媒質においても高効率で高ビーム品質なレーザ発振が行える。

【0030】

なお、レーザ媒質の形状は、図2に示したような発振軸方向と垂直な方向の断面の形状がD字形だけでなく、入射面が、拡がりを有する励起光を平行光にする形状であり、反射部が平面であれば同様の効果が得られる。図4および図5は、図1、2とは異なる形状のレーザ媒質を用いた変形例である。図4においては、レーザ媒質41が図2に示したようなD字形ロッドの上面と下面を平行に切り落とした形状を有している。図5においては、レーザ媒質51が図4の入射面を上下対称な直線で置き換えた形状を有しており、断面全体としては五角形となっている。図4および図5において、レーザ媒質41およびレーザ媒質51以外の構成要素は、図1における同名の構成要素と同様に構成されている。

【0031】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明によれば、固体レーザ媒質と、この固体レーザ媒質の側面に配設され上記固体レーザ媒質を励起する励起光源と、上記固体レーザ媒質で吸収されなかった上記励起光源からの励起光を上記固体レーザ媒質に戻す反射部とを備えた固体レーザ装置において、上記固体レーザ媒質は、上記励起光源と対向する面を、上記励起光が上記固体レーザ媒質内で平行となるよう形成された光入射面とともに、上記反射部と対向する面を平面とし、上記反射部からの反射光を平行状態で上記固体レーザ媒質に戻すようにしたので、光学部品を全く使用しない簡素な構造にて、レーザ媒質を均一にかつ高密度で励起することができ、高効率で高ビーム品質なレーザ発振が可能となる。また、軸

方向によって特性の異なる異方性をもつレーザ媒質を使用する場合でも、反射部と対向する面を平面を利用して位置決めが容易に行えるので、レーザ媒質を効率良く励起することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本実施の形態の固体レーザ装置をレーザ発振軸方向に垂直な面で切断した断面図、

【図2】

本実施の形態の固体レーザ装置に使用するレーザ媒質の斜視図、

【図3】

本実施の形態の固体レーザ装置においてレーザ媒質を励起したときの光線追尾図、

【図4】

本実施の形態の固体レーザ装置の変形例を示す図、

【図5】

本実施の形態の固体レーザ装置の別の変形例を示す図、

【図6】

従来の固体レーザ装置をレーザ発振軸方向に垂直な面で切断した断面図、

【図7】

レーザ媒質が角柱状である従来の固体レーザ装置をレーザ発振軸方向に垂直な面で切断した断面図、

【図8】

集光光学系を用いずに励起光の広がり角を小さくすることを可能にした従来の固体レーザ装置をレーザ発振軸方向に垂直な面で切断した断面図、

【図9】

固体レーザロッドに吸収されなかった励起光を有効に固体レーザロッドに戻すための工夫がなされた従来の固体レーザ装置をレーザ発振軸方向に垂直な面で切断した断面図、

【図10】

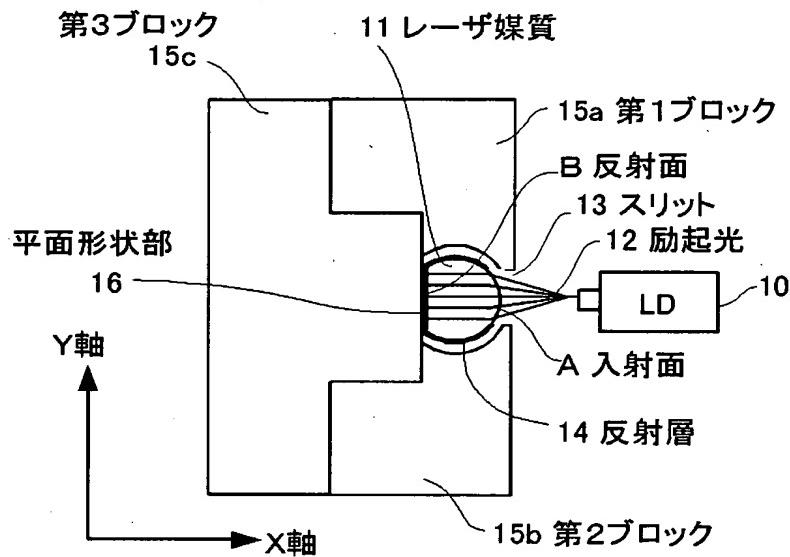
従来の固体レーザ装置におけるレーザ媒質の励起状態をレーザ発振軸方向に垂直な面で切断した断面図である。

【符号の説明】

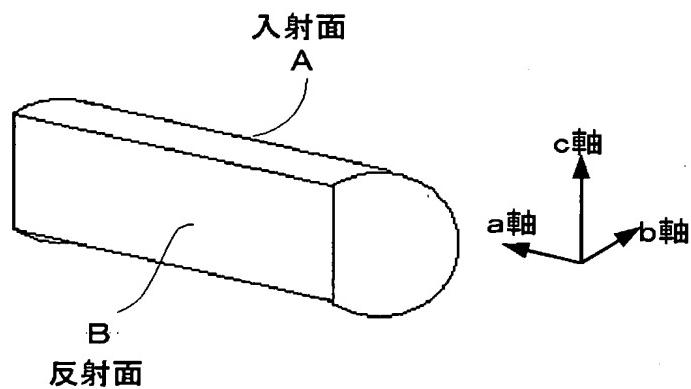
- 10 LD
- 11 レーザ媒質
- 12 励起光
- 13 スリット
- 14 反射層
- 15 ヒートシンク
- 16 平面形状部
- A 入射面
- B 反射面

【書類名】 図面

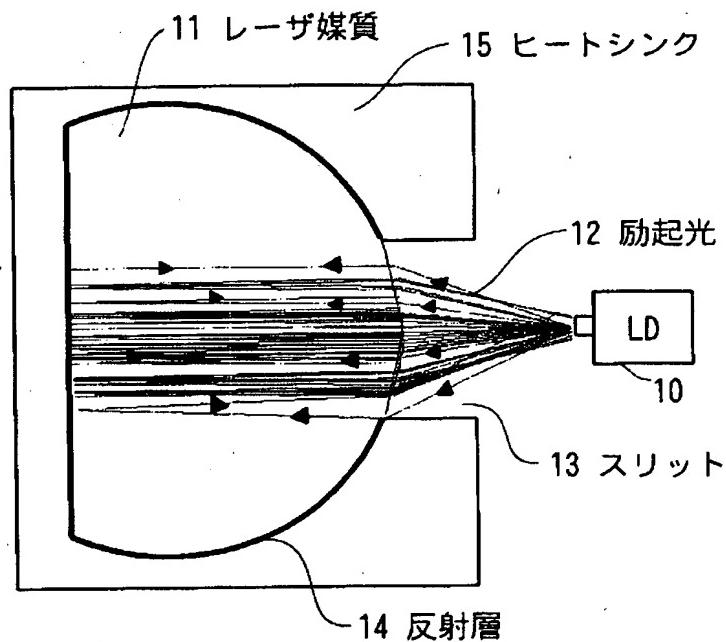
【図1】



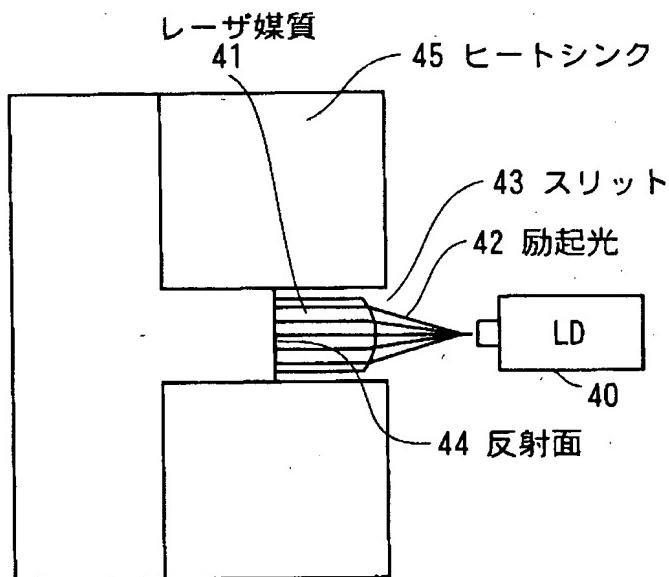
【図2】



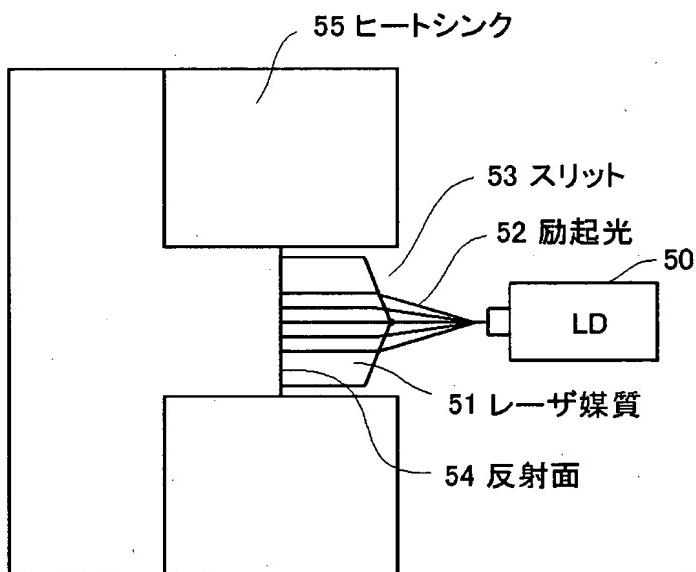
【図3】



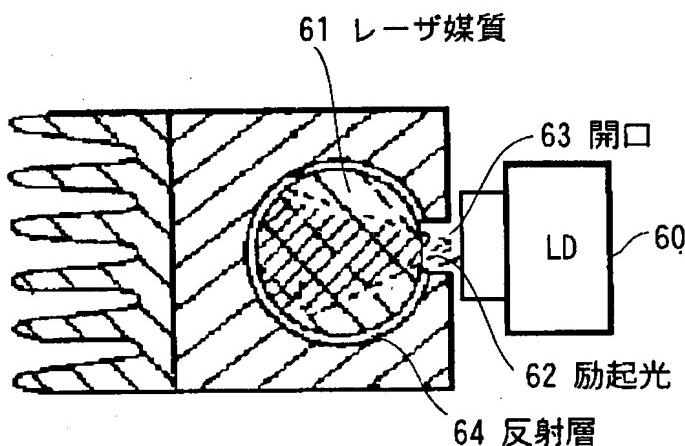
【図4】



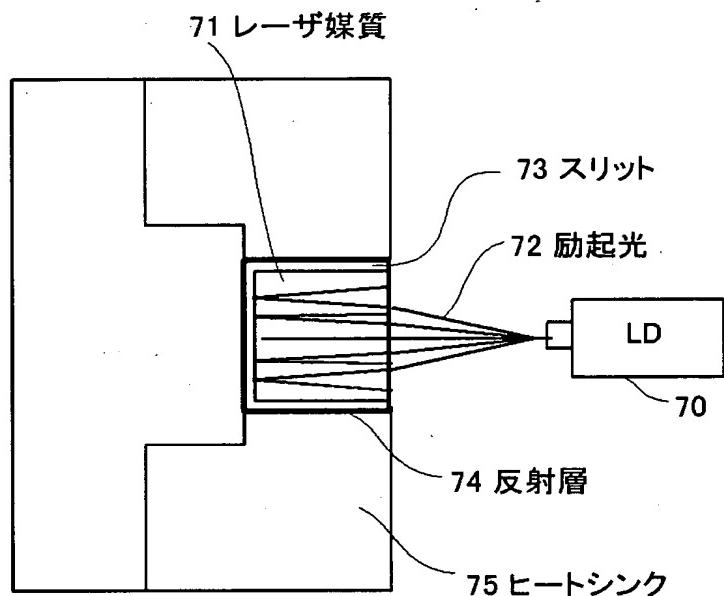
【図5】



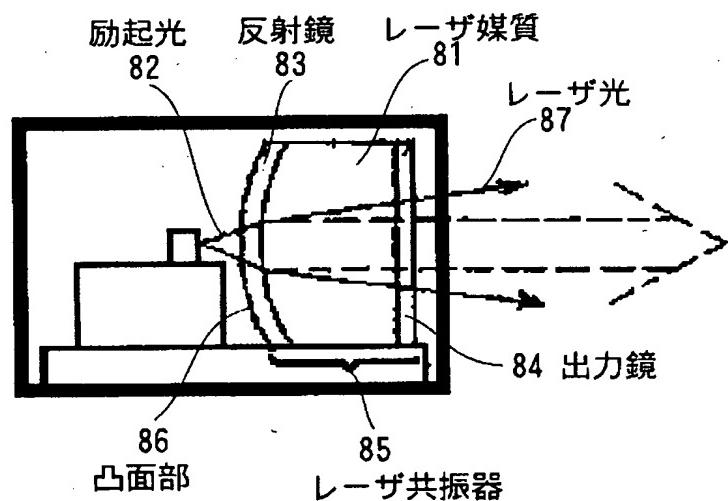
【図6】



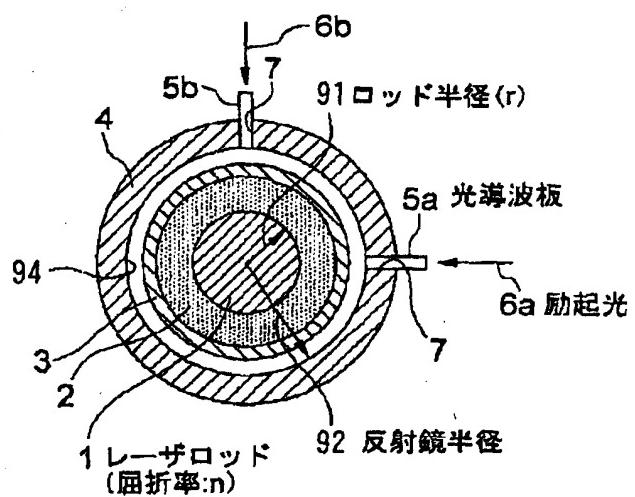
【図7】



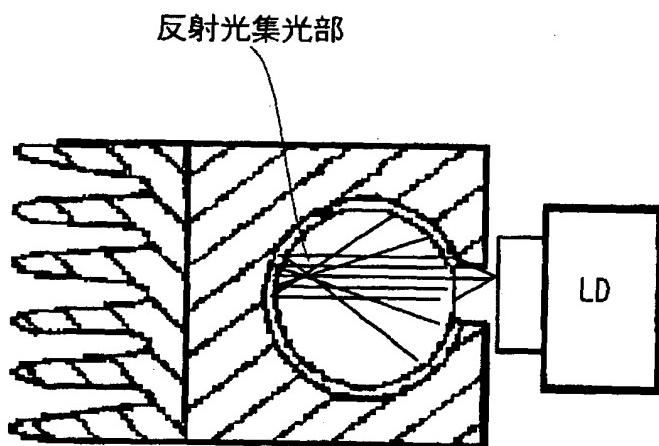
【図8】



【図9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 励起効率および励起分布がともに良好であり、かつ異方性をもつレーザ媒質においても結晶軸の位置決めが容易に行える固体レーザ装置を提供する。

【解決手段】 固体レーザ装置は、LD10からの励起光12を吸収し所定波長の光を発生または增幅するレーザ媒質11と、レーザ媒質11の位置決めとレーザ媒質11の冷却、さらには励起光12の反射を行う第1乃至第3ブロック15a、15b、15cからなるヒートシンクを備える。レーザ媒質11は入射面Aが円弧状、反射部が平面である。拡がり角を有する励起光12は入射面Aで平行光にされるので、レーザ媒質11が均一に励起される。また反射部は平面となっているので、軸方向によって特性の異なるレーザ媒質11の位置決めが容易に行えるだけでなく、反射光は入射光とほぼ平行に反射するので効率よくレーザ媒質11が励起される。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000128496]

1. 変更年月日 1990年 8月21日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都調布市調布ヶ丘3丁目34番1号
氏 名 株式会社オーク製作所

2. 変更年月日 2003年 1月10日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都調布市下石原一丁目2番地3
氏 名 株式会社オーク製作所